

軟弱地盤の残留沈下予測と信頼性解析

Reliability Analysis and Prediction of Residual Soft Ground Subsidence

○西村友希 西村伸一 珠玖隆行 藤澤和謙

Yuki NISHIMURA, Shin-ichi NISHIMURA, Takayuki SHUKU, Kazunori HUIJISAWA

1.はじめに

本研究はデータ同化手法の一つである粒子フィルタを用いて、地盤挙動の予測精度向上を目的とし、軟弱地盤の残留沈下量を算定する。粒子フィルタは、予測沈下量の確率分布を正確に評価できるという特性を持つ。本論では、圧密沈下挙動に関する土質パラメータを同定し、将来の沈下量を予測すると共に、沈下限界値を超過する確率の算定を試みる。

2.粒子フィルタ

粒子フィルタとは確率分布を多数の実現値で近似し、それぞれの粒子（ここでは、沈下量・間隙水圧、解析パラメータ）がモデルに従ってどのように変化するかをシミュレートして予測分布を計算する。概要を図1に示す。本研究では観測値 y_t について粒子 x_t の推定を行う。まず、ある条件のもと乱数を発生させて粒子を作り、その粒子から沈下量を計算する。そこに観測値を用いて重み β_t を算出する。重みとは、予測値と実測値の適合度が高ければ大きく計算される変数である。これを繰り返す、一番大きな重みをもつ数値を、重み付平均値として算出する。

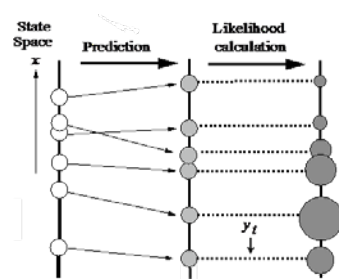


図1 粒子フィルタのフロー
The flow of the particle filter

3.解析モデル

今回は手法の確立を目的とし、実測値を用いる代わりに、あらかじめ計算した変位と間隙水圧を用意し、観測値として用いる。観測点を図2に示す。本研究では地盤の構成式として関口・太田モデルを用いているが、構成式中の沈下挙動に影響のあるパラメータを同定するものとする。計算に用いたパラメータを表1に、同定パラメータの統計的特性を表2に示す。

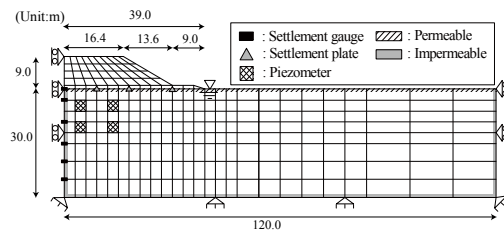


図2 解析モデル
Analysis model

$$\text{粘塑性体積ひずみ } \varepsilon_v^p = \alpha \ln \left[1 + \frac{\dot{V}_{0r}}{\alpha} \exp \left(\frac{f}{\alpha} \right) \right] \quad (1) \quad D = \lambda \Lambda / [M(1 + e_0)] \quad (3)$$

$$\text{降伏応力 } f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p'}{p'_0} + D \eta^* \quad (2) \quad \Lambda = 1 - \frac{\kappa}{\lambda} \quad (4)$$

α : 二次圧縮係数, \dot{V}_0 : ひずみ速度, λ : 圧縮指数, κ : 膨張指数, e_0 : 含水比, p' : 平均有効応力, p'_0 : 先行圧密状態の平均有効応力, D : ダイレイタンスー係数, η^* : 応力比パラメータ, M : 限界状態指数, Λ : 非可逆比

岡山大学大学院環境学研究科 Graduate School of Environment Science, Okayama University

キーワード: 軟弱地盤, 粒子フィルタ, 残留沈下

表1 土質パラメータ

Soil parameter					
λ	Λ	M	α	v_0	$k(\text{m/day})$
0.225	0.822	1.44	0.00503	1.0×10^{-6}	6.05×10^{-4}

表2 乱数の統計的性質

Statistical properties of random		
	範囲/ σ	Type
λ	0.034	正規乱数
$\log k$	-4.22~-2.22	一様乱数
α	0.00076	正規乱数
$\log v_0$	-7.00~-5.00	一様乱数

表2に示す「範囲/ σ 」は一様乱数では範囲を、正規乱数では標準偏差を表す。また、「Type」は室内試験や原位試験からそのパラメータの統計的性質をある程度把握できるものについては正規乱数とし、統計的性質のみならず、その値の設定自体が困難なパラメータについては一様乱数として扱った。今回はより実用性を高めるためサンドドレーン工法による地盤改良を対象とする。改良域について図3に示す。改良地盤の透水係数は矢部ら¹⁾の提案式 $k^* = \beta k$ を用いる。本論では $\beta = 76.55$ とした。なお、有限要素解析において、モデルの修正は行わず、透水係数のみを変更することで表現する。また、観測データとして図2に示した全ての観測データ(沈下量:9点, 間隙水圧:4点)を用いた。実際の観測データには種々の誤差が含まれているが、本論では簡単のため誤差を含まない理想的な観測データが得られたと仮定している。

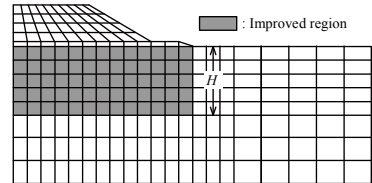


図3 サンドドレーン改良域
Sand drain improvement area

4.解析結果

解析結果を図4に示す。図中の True value が観測値で、Simulation が粒子フィルタによって同定されたパラメータを用いた結果である。一般的により多くの観測データを得るに伴って同定精度は向上するが、ここでは盛土開始から110日経過時点での同定パラメータを用いた。図より、予測結果は擬似観測データの沈下量、間隙水圧ともに一致することから、粒子フィルタにより予測精度の高い弾粘塑性パラメータが同定できることがわかる。

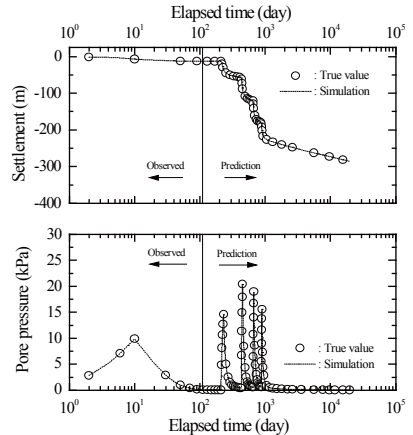


図4 解析結果
Analysis result

5.超過確率

供用開始から30年後の残留沈下量が100mを超える確率を超過確率 P_{EX} とする。 P_{EX} は条件を超える粒子の重みの総和として計算できる。初期設定値では、 $P_{EX} = 5.6\%$ となり、粒子フィルタによって同定された結果は、 $P_{EX} = 99.9\%$ となった。予測が更新されたことにより、この盛土地盤は更なる改良、もしくは対策が必要であると判定されることになる。

6.結論

粒子フィルタにより、精度の高い弾粘塑性パラメータの同定が可能であることがわかった。また、予測値の確率分布により予測結果の精度を定量的に評価でき、対策工を検討する際の意味決定ができる可能性が有ることを示した。

■参考文献

- 1) 矢部 満, 阿部知之, 本多 隆: 現場サンドドレーン改良地盤に対する見かけの透水係数の評価事例, 第32回地盤工学研究発表会, pp.1357-1358, 1997.